

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

ШИРОКОСМУГОВІ СИГНАЛИ В СИСТЕМАХ ТЕХНІЧНОГО ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ КУРСОВА РОБОТА

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів ступеня магістра за освітньо-
професійною програмою «Системи технічного захисту інформації»
за спеціальністю 125 «Кібербезпека»*

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2020

Ширококутні сигнали в системах технічного захисту інформації: Курсова робота на тему «Виділення ширококутнього сигналу із суміші сигналу з різними видами адитивних завад, використовуючи узагальнений спектральний метод» [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здоб. ступеня магістра за освітньо-професійною програмою «Системи технічного захисту інформації» за спеціальністю 125 «Кібербезпека» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: С. М. Куш, Д. О. Прогонов., О.В. Пивовар – Електронні текстові дані (1 файл: 2,87 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 48 с.

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
(протокол № 7 від 27.02.2020 р.)
за поданням Вченої ради Фізико-технічного інституту
(протокол № 14/2019 від 23.12.2019 р.)*

Електронне мережне навчальне видання

ШИРОКОКУТНІ СИГНАЛИ В СИСТЕМАХ ТЕХНІЧНОГО ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ

КУРСОВА РОБОТА

Укладачі: *Куш Сергій Миколайович, канд. техн. наук, доц.
Прогонов Дмитро Олександрович, канд. техн. наук, доц.
Пивовар Олександр Васильович, старш. викладач*

Відповідальний
редактор *Мачуський Євгеній Андрійович, доктор техн. наук, проф.*

Курсова робота з дисципліни «Ширококутні сигнали» охоплює основні розділи теоретичного курсу. Виконання даного циклу робіт на ПК з використанням сучасного програмного забезпечення (пакетів Mathlab, Mathcad), дозволить набути навички сучасних методів досліджень складних сигналів в умовах сильних завад, що допоможе кращому засвоєнню теоретичних положень, викладених в лекціях, навчальній та науковій літературі.

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020

ЗМІСТ

ПЕРЛІК СКОРОЧЕНЬ	4
ЗАВДАННЯ.....	5
ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ.....	10
ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ.....	13
ЧАСТИНА 1	13
1.1. Побудова динамічної моделі заданого періодичного сигналу $S(t)$	131
1.2. Розрахунок і побудова спектру неперервного періодичного сигналу $S(t)$ в гармонічному базисі	164
1.3. Синтез сигналу по розрахованому спектру	19
1.4. АКФ заданого сигналу $S(t)$	17
1.5. Розрахунок спектру сигналу, використовуючи ДПФ	2119
1.6. Синтез сигналу по розрахованому спектру ДПФ	253
1.7. Розрахунок нормованої АКФ дискретного сигналу	27
1.8. Розрахунок АКФ білого шуму	28
1.9. Складний сигнал	29
1.10. Розрахунок ВКФ дискретного сигналу	30
1.11. Суміші $XN(t)$ заданого сигналу $S(t)$	31
ЧАСТИНА 2	36
2.1. Побудова спектру сигналу $XI(t)$, використовуючи гармонічний базис, та визначення спектральної лінії гармонічної завади	36
2.2. Видалення гармонічної завади в $XI(t)$	36
2.3. Видалення гармонічної завади в $X4(t)$	38
2.4. Видалення імпульсної завади з сигналу $X2(t)$	40
2.5. Видалення імпульсної завади з сигналу $X4A(t)$	43
2.6. Визначення заданого сигналу	44
2.7. Кореляційний аналіз сигналу $X4(t)$	46
ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	48

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ШСС – широкосмуговий сигнал;

ФУ – функція Уолша;

АКФ – автокореляційна функція;

ПАКФ – періодична автокореляційна функція;

ВКФ – взаємнокореляційна функція;

ДПФ – дискретне перетворення Фур'є;

ОДПФ-обернене дискретне перетворення Фур'є.

ЗАВДАННЯ

ЧАСТИНА 1

МОДЕЛЮВАННЯ І АНАЛІЗ СУМІШІ ШСС ТА АДИТИВНИХ ЗАВАД.

1. Побудувати динамічну модель заданого періодичного сигналу $S(t)$. Використати вбудовані функції Mathcad, MatLab або іншого програмного забезпечення. Вибір варіанту завдання- сигналу $S(t)$, завад та функцій для розрахунку ВКФ проводиться студентами із **Таблиці А** згідно з номером у списку групи.

Таблиця А.

№ вар	Заданий періодичний сигнал $S(t)$	Тривалість імпульсу елементу сигналу, τl (мкс)	Завада, $-10\sin(2\pi t/Tl + \varphi)$, де Tl (мкс) φ (рад/с)		Імпульсна завада, $5\text{har}(r, m, t)$	Імпульсна завада, $10(1(t+\Delta t) - 1(t+\Delta t + \tau 2))$		Функції для розрахунку ВКФ
	функція	τl (мкс) =	Tl (мкс)	φ (рад/с)		$\tau 2$ (три-валість, мкс)	Δt (мкс)	
1	wal(12,t)* wal(7,t)	0,5	2 τl	$\pi/2$	har(2,4,t)			rad(3,t),wal(9,t)
2	wal(10,t)* wal(5,t)	0,4	τl	$\pi/4$		τl	5 τl	rad(4,t),wal(14,t)
3	wal(3,t)* wal(13,t)	0,2	0,5 τl	$\pi/9$	har(2,3,t)			rad(3,t),wal(13,t)
4	wal(12,t)* wal(4,t)	0,5	2 τl	$\pi/2$		2 τl	4 τl	rad(3,t),wal(8,t)
5	wal(14,t)* wal(2,t)	0,4	τl	$\pi/8$		τl	8 τl	rad(3,t),wal(12,t)
6	wal(3,t)* wal(15,t)	0,2	0,5 τl	$\pi/3$	har(2,3,t)			rad(4,t),wal(11,t)
7	wal(13,t)* wal(5,t)	0,5	2 τl	$\pi/2$	har(2,3,t)			rad(3,t),wal(10,t)
8	wal(10,t)* wal(3,t)	0,4	τl	$\pi/4$	har(3,4,t)			rad(4,t),wal(9,t)
9	wal(11,t)* wal(2,t)	0,2	0,5 τl	$\pi/12$	har(3,2,t)			rad(3,t),wal(14,t)
10	wal(13,t)* wal(5,t)	0,5	2 τl	$\pi/2$	har(3,3,t)			rad(4,t),wal(14,t)
11	wal(10,t)* wal(7,t)	0,4	τl	$\pi/3$		τl	6 τl	rad(4,t),wal(13,t)
12	wal(14,t)* wal(4,t)	0,2	0,5 τl	$\pi/16$	har(2,4,t)			rad(3,t),wal(12,t)
13	wal(9,t)* wal(4,t)	0,5	2 τl	$\pi/4$		τl	8 τl	rad(4,t),wal(11,t)
14	wal(10,t)* wal(5,t)	0,4	τl	$\pi/6$		0,4 τl	5 τl	rad(4,t),wal(14,t)
15	wal(11,t)* wal(5,t)	0,2	0,5 τl	$\pi/8$		τl	6 τl	rad(4,t),wal(12,t)
16	wal(11,t)* wal(4,t)	0,5	2 τl	$\pi/2$		0,5 τl	7 τl	rad(4,t),wal(10,t)
17	wal(15,t)* wal(0,t)	0,4	τl	$\pi/4$		τl	8 τl	rad(5,t),wal(15,t)

2. Розрахувати і побудувати спектр неперервного періодичного сигналу $S(t)$, використовуючи гармонічний базис (перейти до нормованого часу).

3. Провести синтез сигналу по розрахованому спектру і побудувати одержаний сигнал на одному графіку із заданим.

4. Розрахувати АКФ заданого сигналу $S(t)$.

5. Використовуючи данні п.1, одержати дискретний сигнал $S_d(t)$. Обґрунтувати вибрану кількість відліків сигналу $S(t)$.
6. Розрахувати спектр сигналу $S(t)$, використовуючи ДПФ і порівняти одержані результати з даними п.2.
7. Провести синтез сигналу по розрахованому у п.6 спектру, і побудувати одержаний сигнал на одному графіку із заданим.
8. Розрахувати нормовану АКФ дискретного сигналу і порівняти одержані результати з даними п.4.
9. Розрахувати АКФ білого шуму та побудувати графік.
10. Одержати складний сигнал перемноживши код сигнал $S(t)$ (заданий у п.1) на породжуючий сигнал з **Табл. В**.

Таблиця В

Номер варіанту		Код породжуючої послідовності
Для мП	1	1100000110010100
	2	1110111000010110
	3	1100010001001011
	4	1010110011000001
	5	1010010001000111
	6	1100000100101011
	7	1011101101000011
	8	1001011110001000
	9	1001010001111110
	10	1000111111011010
	11	1000011101110110
	12	1000001100101001
	13	1000000111010110
	14	1111100110010100
	15	1111001100101011

11. Розрахувати АКФ одержаного складного сигналу. Порівняти АКФ складного з АКФ сигналу, який одержали у п.6.
12. Розрахувати ВКФ дискретного сигналу $S_d(t)$ (з п.5). і сигналів, які задані у таблиці В для вашого варіанту.
13. Побудувати суміші $XN(t)$ заданого сигналу $S(t)$ та:

- i. Гармонічної завади $x_e(t) - X1(t) = S(t) + x_e(t)$,
- ii. Імпульсної завади $x_i(t) - X2(t) = S(t) + x_i(t)$,
- iii. Білого шуму $\eta(t, m, \sigma) - X3(t) = S(t) + \eta(t, m, \sigma)$,
- iv. Гармонічної завади + Імпульсної завади + Білого шуму $-X4(t) = S(t) + x_e(t) + x_i(t) + \eta(t, m, \sigma)$.

Представити всі ці суміші на окремих графіках.

У базисі гармонічних функцій розрахувати спектр сигналу $X4(t)$ та порівняти його зі спектрами сигналів $X1(t)$ та $X3(t)$.

ЧАСТИНА 2

ОБРОБКА СУМІШІ СИГНАЛУ З РІЗНИМИ ВИДАМИ АДИТИВНИХ ЗАВАД ПО АЛГОРИТМУ УЗАГАЛЬНЕНОЇ СПЕКТРАЛЬНОЇ ОБРОБКИ.

1. Розрахувати і побудувати спектр сигналу $X1(t)$, використовуючи гармонічний базис.
2. Визначити спектральну лінію, яка відповідає гармонічній заваді.
3. На основі аналізу адитивної суміші сигналу з різними видами завад та шумом, видалити гармонічну заваду. Розглянути випадки $|C_{nr}|=0$, $|C_{nr}|=(|C_{nr+1}|+|C_{nr-1}|)/2$, $(-|C_{nr}|\cos(n\pi\omega_1 t + \psi_{nr}))$ та побудувати синтезовані сигнали $X1_i(t)$, на одному графіку з $S(t)$. Вибрати оптимальний критерій видалення гармонічної завади.
4. Розрахувати і побудувати спектри сигналу $X2(t)$, використовуючи базиси прямокутних імпульсів (blo) та функцій Хаара.
5. По одержаним результатам розрахунку спектра у вибраному базисі визначити спектральні лінії, які відповідають імпульсній заваді.
6. Видалити імпульсну заваду із адитивної суміші сигналу та завад (див. Матеріали лабораторної роботи №5). Побудувати одержаний сигнал $X2a(t)$, на одному графіку з $S(t)$.
7. Розрахувати і побудувати спектр сигналу $X4a(t)$, використовуючи базиси прямокутних імпульсів та функцій Хаара.
8. Видалити імпульсну заваду із адитивної суміші сигналу та завад. Побудувати одержаний сигнал $X4b(t)$.
9. Розрахувати і побудувати спектри сигналів $X4b(t)$ і $S(t)$, у базисі функцій сигналу $S(t)$.
10. По одержаному спектру сигналу, визначити заданий сигнал $S(t)$.
11. Розрахувати і побудувати ВКФ $X4(t)$ і функцій у класі функцій заданого сигналу (обов'язково розглянути ВКФ $X4(t)$ і заданого сигналу $S(t)$), а

також функцій, заданих у таблиці для вашого варіанту. Визначити заданий сигнал.

12. Обчислити суму АКФ для сигналу $S(t)$ і інвертованого до сигналу $S(t) - \{-S(t)\}$, а також для сигналу $X4(t)$ і інвертованого сигналу $X4(t) - \{-X4(t)\}$.

13. Написати висновки до роботи.

Примітки:

- i. При обробці суміші сигналу і завад необхідно враховувати випадок, коли у заданому сигналі відсутня постійна компонента;*
- ii. При розрахунках по кожному пункту завдання необхідно приводити детальний опис виконаних перетворень, приводити формули і записувати сигнали. Наприклад, при розрахунку ВКФ, необхідно приводити дискретні функції та формули для розрахунку ВКФ;*
- iii. Всі результати повинні бути представлені на графіках;*
- iv. Для нормального білого шуму прийняти значення математичного очікування $m = 0$, а середньоквадратичне очікування $\sigma = 0,75$.*

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ

1. Робота повинна містити:

- Титульний аркуш, оформлений відповідно до вимог випускаючої кафедри.
- Зміст (тобто сторінки роботи повинні бути пронумеровані).
- Загальне завдання до роботи.
- Дані вашого варіанту із зазначенням номеру варіанту.
- Результати виконання завдання за пунктами. Кожен пункт необхідно починати з завдання, яке Ви повинні виконати відповідно до цього пункту і закінчувати висновками.
- Таблиці та рисунки мають бути оформлені відповідно до вимог нормативних документів. При виведенні графіків ширина лінії (особливо для чорнобілого друку) вибирається такою, щоб можна було розрізнити представлені залежності.
- У тексті обов'язково повинні бути посилання на таблиці і рисунки. Наприклад, *на рис ... представлені амплітудний і фазовий спектри сигналу $X_4(t)$* .
- Під рисунком повинен бути підпис, з якого можна зрозуміти, що зображено на рисунку і для якої функції Ви побудували наведені залежності. Не забувайте вказувати змінні та їх розмірності по осях.
- Після рисунків необхідно провести аналіз отриманих результатів, щоб було зрозуміло, навіщо Ви їх будували.
- На основі проведеного аналізу повинні бути приведені висновки за пунктами розділів, також до кожної частини розділу роботи і до роботи в цілому.
- Список літератури.

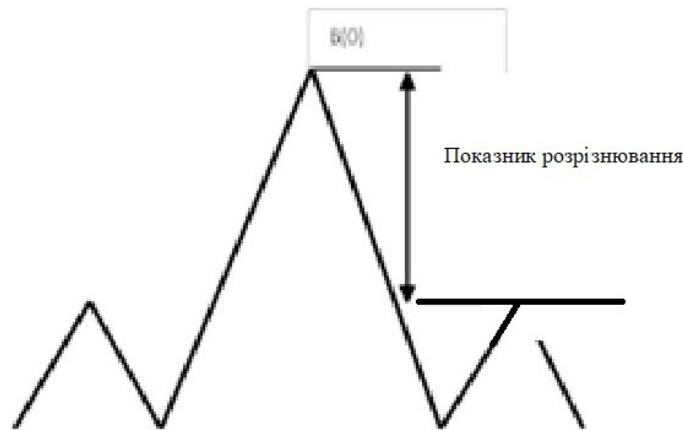
Вимоги до виконання пунктів роботи.

- Записати функцію Уолша через добуток функцій Радемахера в явному вигляді.
- Після розрахунку тривалості сигналу введіть нормований час.
- Графіки обов'язково представити і для нормованого часу (від 0 до 1). На осях повинен бути обраний масштаб, що дозволяє оцінити тривалість чіпу і характерні точки функції (можна позначити за допомогою маркерів).
- Всі присвоєння повинні бути скопійовані з програми розрахунку, щоб можна було визначити - якій функції відповідає $S(t)$ і які Вами вводилися значення для змінних.
- Для позначення амплітудного - A_n і фазового - ψ_n спектрів вибрати індекс n (нумерацію номера гармоніки), так як індекс k - далі в розрахункових фор-

мулах використовується для позначення номера відліку при побудові дискретних функцій.

- Так як вибрано нормований час ($T = 1$), то при побудові амплітудного - A_n і фазового - ψ_n спектрів вибрати такий масштаб представлення результатів, щоб на графіку обов'язково була позначена (маркером) гармоніка, що відповідає секвентності заданого сигналу (це критерій перевірки правильності розрахунку спектра сигналу).
- Вирази для ψ_n доповнити умовою, щоб при $A_n = 0$, також і $\psi_n = 0$.
- Якщо таблиці значень $[A_n]$, ψ_n займають багато місця, то можна виводити дані в рядок перейшовши до транспонованих величин, наприклад, $[A_n]^T$.
- Наводити таблиці значень $[A_n]$ (можна $[A_n]^T$) таким чином, щоб в рядок вивести результат (копіювати з MathCad і вхідні данні).
- Графіки A_n і ψ_n повинні бути представлені в одному масштабі і займати всю область по ширині сторінки.
- Синтез сигналу виконати при різних $n_{max} = 50, 70, 100$. При $n = 100$ Ви можете отримати великі осциляції.
- Розрахунок АКФ можна виконати, взявши $\tau \in [0, 1]$ з малим кроком і межі інтегрування від 0 до 1, тому що АКФ симетрична. Рисунок можна виконати у збільшеному масштабі, взявши $\tau \in [0, 1]$, для нормованої величини $B(\tau)$ і показати за допомогою trace або marker максимальний рівень бічних пелюсток. Привести розрахунки для показника розрізнення.
- Звертайте увагу, що кількість гармонік спектру сигналу не може перевищити число взятих відліків k .
- Обґрунтуйте вибір функції перетворення Фур'є отриманого вектора, враховуючи характер сигналу.
- Проведіть аналіз для кількох значень k і виведіть значення коефіцієнтів розкладу та їх модулів (пам'ятаєте про кратність числа дискретів 2^n).
- При порівнянні амплітуд гармонік, отриманих з використанням ДПФ, з амплітудами, отриманими в п. 1.2, вміти пояснити появу відмінностей.
- Врахуйте, що для ряду випадків виводиться тільки половина значень коефіцієнтів, тому значення інших коефіцієнтів Ви повинні вміти отримати самостійно на основі властивостей ДПФ.
- Синтез сигналу провести використовуючи форму подання сигналу через тригонометричний ряд Фур'є (необхідно представити амплітуди A_n і фази ψ_n гармонік через отримані комплексні амплітуди гармонік).
- Синтез сигналу провести для різних n . Для розглянутого сигналу записати, на основі всіх отриманих коефіцієнтів, тригонометричний ряд Фур'є і обчислити $S(t)$. (Під синтезом розуміється побудова вихідного, а не дискретизованого сигналу. Для синтезу не використовуйте ОДПФ так як ви отримаєте просто вихідний вектор. Використовуйте формулу для синтезу з конспекту лекцій та лабораторної роботи №5).

- На одному графіку привести нормовані АКФ для неперервного і дискретного сигналів - (якщо є великі розбіжності, то Ви помилилися в розрахунках). Перевірте тривалість чіпу для неперервного і дискретного сигналів.
- Врахувати, що якщо розглядається дискретний сигнал, то Ви повинні побудувати і дискретну АКФ, і відповідну АКФ для неперервного сигналу.
- При розрахунку АКФ матричним методом введіть нумерацію рядків і стовпців, щоб їх загальна кількість не перевищувала N . Щоб не плутатися при обчисленні значень $V(k)$ не вводьте номери відліків - (так як вони починаються з 0). Перевірте кількість k і симетрію матриці. Позначте маркером точку $\tau = 0$
- Дати кількісну оцінку поліпшення показника розрізнення.



- Якщо виконуєте обчислення для неперервного сигналу, то звертайте увагу на відповідність інтервалу кореляції межах інтегрування та змін τ , а також кроку τ .
- Для дискретних сигналів при побудові матриці перетворень необхідно вказати відповідність сигналів $S1(k)$, $S2(k)$ рядку або стовпцю системи.
- Не забувайте перейти від дискретної ВКФ до ВКФ неперервного сигналу (оскільки задані неперервні сигнали).
- Оцініть отримані співвідношення з точки зору помилкових спрацьовувань системи при порушенні синхронізації.
- Для кожного випадку привести вираз для сигналу і відповідної адитивної завади (шуму) - $XN(t)$.
- Побудову графіків провести для нормованого часу.
- Обґрунтуйте вибір функції для опису **білого шуму** і вибране значення дисперсії.

Перед виконанням роботи рекомендуємо ретельно проробити матеріал викладений у лабораторній роботі №5.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ

ЧАСТИНА 1

1.1. Побудова динамічної моделі заданого періодичного сигналу $S(t)$

1.1.1 Теоретичні відомості.


Функції Уолша складають повну систему ортонормованих прямокутних функцій. Існують різні способи упорядкування функцій Уолша – по Уолшу, Адамару, Кулі та ін. Для випадку упорядкування по Уолшу скористаємось способом формування функцій Уолша за допомогою функцій Радемахера.

$$wal(w, x) = \prod_{m=1}^n [rad(m, x)]^{w_{n-k+1} \oplus w_{n-k}}, \quad (1.1)$$

де $n = \log_2 N$ – число двійкових розрядів, $x = \frac{t}{T}$ – нормований час, \oplus – порозрядна сума по модулю 2, w – десяткове представлення номера функції, а w_i – двійкове представлення.

Більш наочно алгоритм одержання функцій Уолша за допомогою функцій Радемахера представлений в Табл. 1.1 (для $N = 8$).

Таблиця 1.1



w	w_0	w_1	w_2	w_3	$wal(w, \theta) = r_1(\theta) \times r_2(\theta) \times r_3(\theta)$
0	0	0	0	0	$wal(0, \theta) = r_1^0(\theta) \times r_2^0(\theta) \times r_3^0(\theta)$
1	0	0	0	1	$wal(1, \theta) = r_1^1(\theta) \times r_2^0(\theta) \times r_3^0(\theta)$
2	0	0	1	0	$wal(2, \theta) = r_1^1(\theta) \times r_2^1(\theta) \times r_3^0(\theta)$
3	0	0	1	1	$wal(3, \theta) = r_1^0(\theta) \times r_2^1(\theta) \times r_3^0(\theta)$
4	0	1	0	0	$wal(4, \theta) = r_1^0(\theta) \times r_2^1(\theta) \times r_3^1(\theta)$
5	0	1	0	1	$wal(5, \theta) = r_1^1(\theta) \times r_2^1(\theta) \times r_3^1(\theta)$
6	0	1	1	0	$wal(6, \theta) = r_1^1(\theta) \times r_2^0(\theta) \times r_3^1(\theta)$
7	0	1	1	1	$wal(7, \theta) = r_1^0(\theta) \times r_2^0(\theta) \times r_3^1(\theta)$

де \oplus – порозрядне додавання по модулю 2, а $r_i^0(\theta) = 1$; $r_i^2(\theta) = r_i(\theta) \dots$

Перші чотири неперервні функції Уолша, які визначені на інтервалах $[0; 1)$ та $[-0.5; 0.5)$, представлені на рис. 1.1.

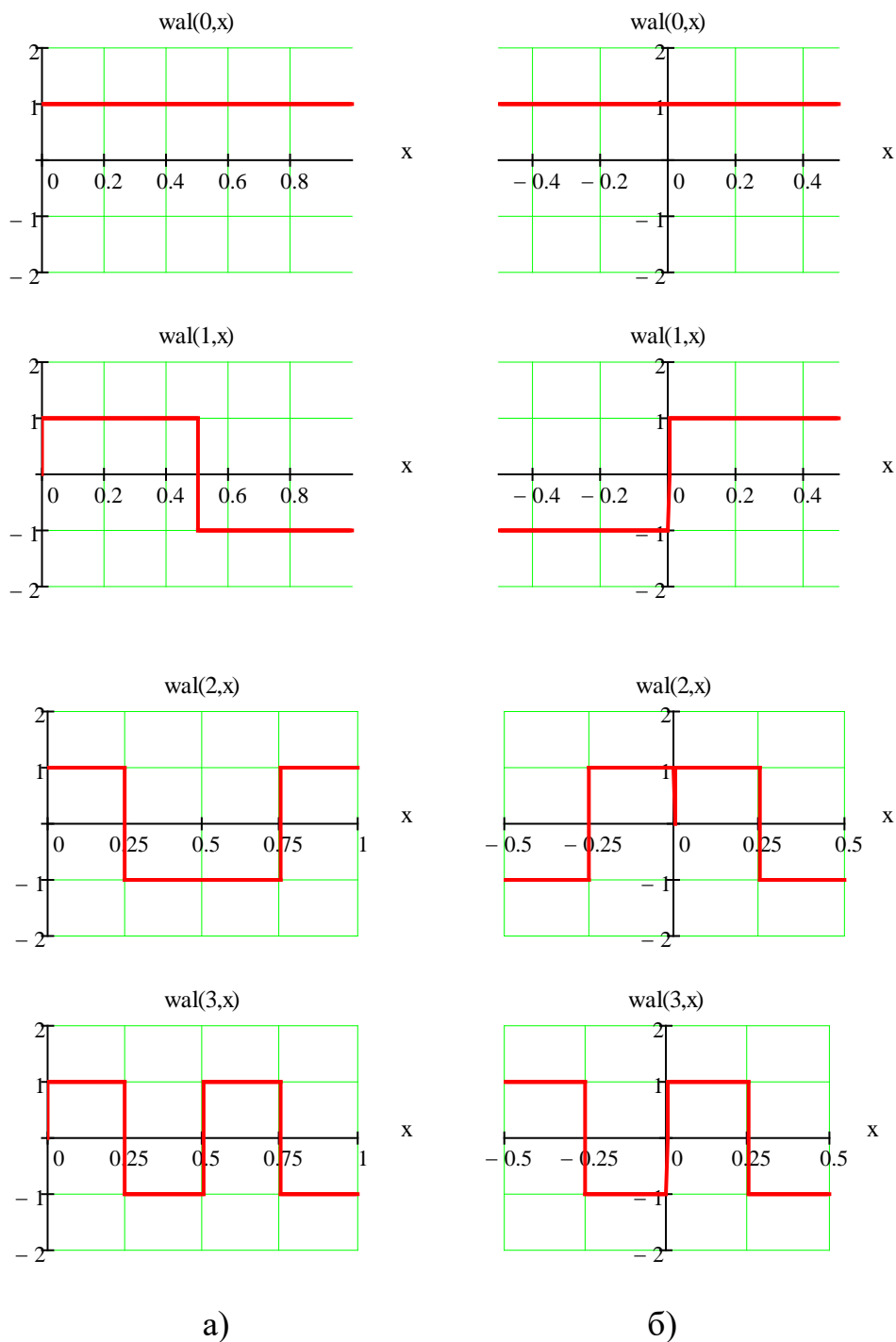


Рисунок 1.1. Перші чотири неперервні функції Уолша:
а) на інтервалі $[0; 1)$; б) на інтервалі $[-0.5; 0.5)$.

1.1.2 Приклад реалізації.

Для створення динамічної моделі сигналу у середовищі Matlab необхідно створити m-файл з ім'ям, що в точності відповідає назві функції (наприклад, для функції «`function W = wal(index, t)`» ім'я m-файлу повинно бути «`wal.m`»), та помістити його в робочу директорию середовища.

Приклад тексту коду m-файлу:

```
% Функція Волша (ФУ)
% t      - змінна нормованого часу (вектор);
% index - номер функції;

function W = wal(index, t)
N = floor(log2(index))+1; %визначення діади ФУ;
temp1 = index;
temp2 = 0;
W = 1;          % ініціалізація ФУ;
for i = 1:N      % визначення двійкового коду;
    temp(N+1-i) = mod (temp1,2);
    temp1 = floor(temp1/2);
end
for i = 1:N      % реалізація формули (1.1)
    if (mod(temp(i)+temp2,2))
        W = W.*sign(sin(pi*(2^(N+1-i))*t));
    % аргумент синуса розділити на період для
    % ненормованого часу
    end
    temp2 = temp(i);
end
end
```

Для побудови графіку функції необхідно задати час в командному вікні рядком:

```
>> t=0:1e-4:1;
```

та побудувати графік за допомогою:

```
>> plot(t,wal(9,t)).
```

В результаті цієї команд буде відкрито вікно з побудованим графіком заданої функції (рис. 1.2.). Користувачу доступні функції редагування та збереження графіку у вигляді зображення.

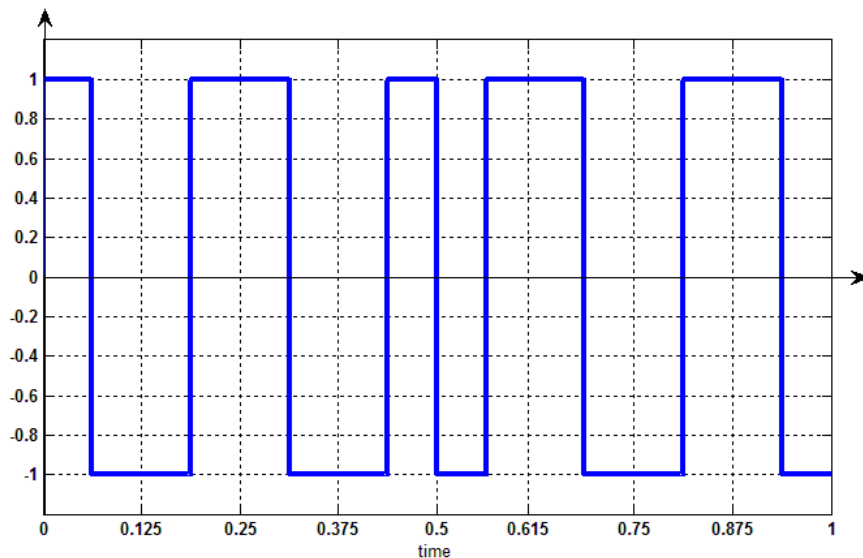


Рисунок 1.2. Функція Уолша ($wal(9, t)$).

Для розрахунку і побудови ФУ можливо використовувати і інші середовища.

1.1.3 Вимоги до змісту підрозділу.

В даному підрозділі необхідно:

- Записати функцію Уолша, як добуток функцій Радемахера у явному вигляді;
- Представити графіки в ненормованому та в нормованому часі. Для нормованого часу період функції дорівнює 1, а масштаб осі часу необхідно обрати від 0 до 1. Масштаб шкали осі часу необхідно обрати такий, щоб було можливо оцінити тривалість чіпу;
- Усі розрахунки повинні бути обґрунтовані у роботі.

1.2. Розрахунок і побудова спектру неперервного періодичного сигналу

$S(t)$ у гармонічному базисі

1.2.1 Приклад реалізації.

Для розрахунку спектру сигналу $S(t)$ за допомогою програмного середовища Matlab необхідно створити m-файл з наступним вмістом:


```

function S = FT(func , M) % перетворення Фур'є
    % повертає перші M елементів ряду у
    % комплексній формі.
    N1 = length(func); % довжина вектора функції
    nn = 1:N1/2;
    if (M < N1/2)
        nn = 1:M+1;
    end
    temp = 2/N1*fft(func);
    temp(1) = temp(1)/2;
    S(nn) = temp(nn);
end

```

Для побудови графіку амплітудного спектру сигналу $S(t)$ необхідно у командному вікні задати наступну команду:

```

>> t=0:1e-6:1;
>> M = 100;
>> n = 0:M;
>> A = abs(FT(wal(9,t),M));
>> fi = phase(FT(wal(9,t),M));
>> stem(n,A);
>> stem(n,fi/pi);

```

Після команди `stem(n,A)` буде побудовано амплітудний спектр сигналу $S(t)$ (рис. 1.3), а після `stem(n,fi)` фазовий спектр в долях числа π (рис. 1.4).

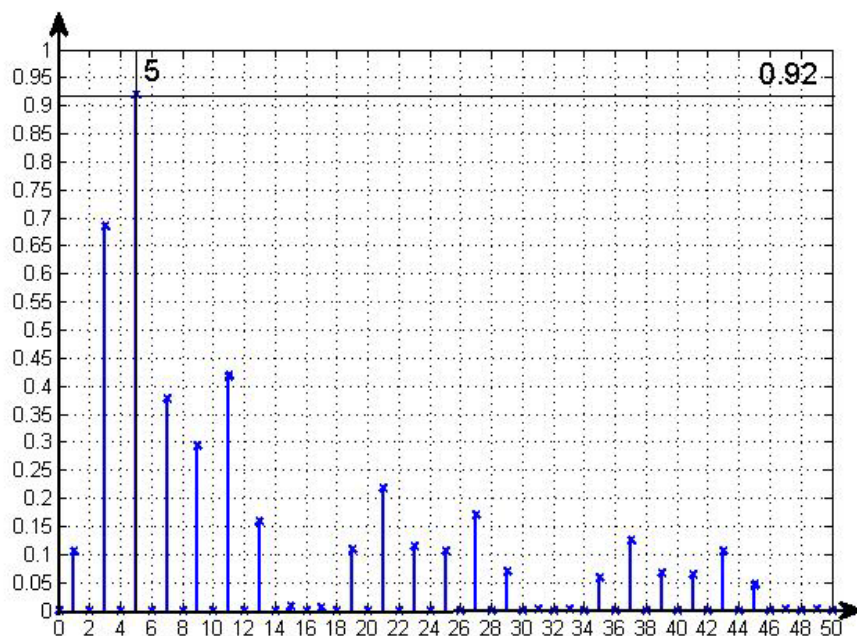


Рисунок 1.3. Амплітудний спектр сигналу $S(t)$.

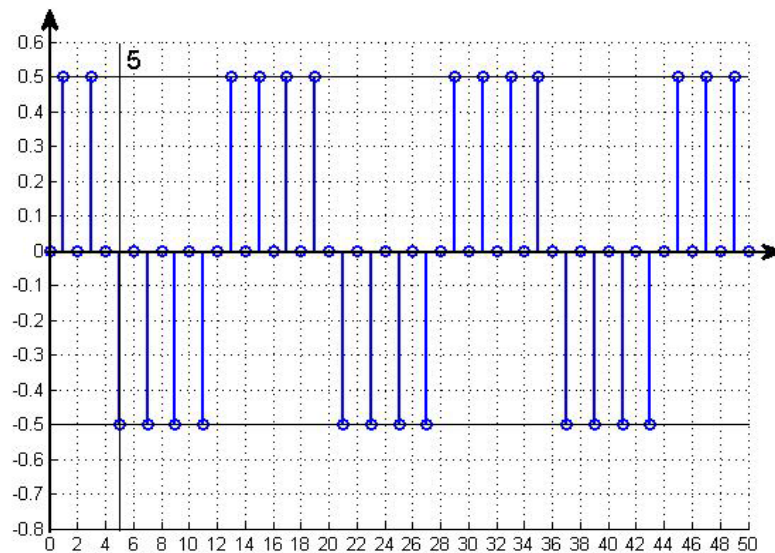


Рисунок 1.4. Фазовий спектр сигналу $S(t)$.

1.2.2 Вимоги до змісту підрозділу та критерії до виконання:

- При побудові спектрів, необхідно вибрати такий масштаб, щоб на графіку обов'язково була відмічена гармоніка, що відповідає секвентності заданого сигналу. Це є перевіркою правильності побудови спектру;
- Для побудови фазового спектру необхідно врахувати те, що якщо амплітуда гармоніки дорівнює нулю, то фаза на цій частоті теж повинна бути рівна нулю. Також необхідно врахувати похибку комп'ютерного обчислення - „машинний нуль”;
- Якщо вектори в яких записані значення амплітудного та фазового спектрів мають великий розмір то:
 - В MathCAD: можливо транспонувати таблицю значень, наприклад - $[A_n] ([A_n]^T)$.
 - В Matlab: вивести в командний рядок значення $[A_n]$ (`>>A`, де A – матриця значень).

1.3. Синтез сигналу по розрахованому спектру

1.3.1 Приклад реалізації.

Для синтезу сигналу $S(t)$ у програмному середовищі Matlab необхідно створити m-файл з наступним вмістом:

```
function x = sintez(S,M,t,wal) % синтез сигналу.  
    N = length(S); % довжина вектора спектру  
    if (M > N) % перевірка довжини  
        M = N;  
    end  
    n = 1 : M;  
    x = 0;  
    for n = 1:M % шаг вибору гармонік  
        x = x + (abs(S(n)))*cos((n-1)* 2*pi*t + phase(S(n)));  
        % синтез  
    end  
    plot(t,[x;wal]); % Побудова синтезованого та заданого сигналу.  
end
```

Для побудови графіку необхідно в командному вікні задати наступні команди:

```
>> S =(FT(wal(9,t),M));  
>> sintez(S,50,t,wal(9,t));
```

В результаті виконання команд буде побудовано графіки синтезованого та заданого сигналів (рис. 1.5).

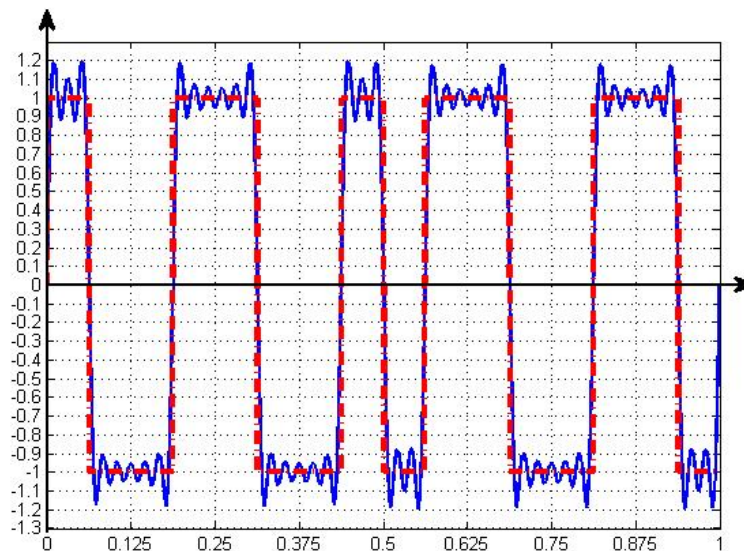


Рисунок 1.5. Синтезований з використанням 50-ти гармонік та заданий $S(t)$, сигнали.

1.3.2 Вимоги до змісту підрозділу.

При виконанні підрозділу необхідно побудувати заданий та синтезований сигнали на одному малюнку.

Необхідно провести синтез при трьох значеннях, наприклад, $n_{max}=50, 70, 100$. При $n_{max} = 100$ можливі великі осциляції. При виборі кількості гармонік для синтезу необхідно слідкувати, щоб при синтезі для кожного з значень n_{max} була різна кількість ненульових гармонік.

1.4. АКФ заданого сигналу $S(t)$

1.4.1 Приклад реалізації.

Для побудови нормованої АКФ необхідно задати час t та зсуви τ :

```
>> t=0:1e-4:1;  
>> tau = -1:1e-4:1
```

та задати побудову АКФ за допомогою функції `xcorr`:

```
>> plot(tau,xcorr(wal(9,t),'biased'));
```

Необхідно пам'ятати, що для побудови неперервного сигналу $\Delta t \rightarrow 0$.

В результаті виконання команди буде побудовано графік нормованої АКФ сигналу $S(t)$ (рис. 1.6).

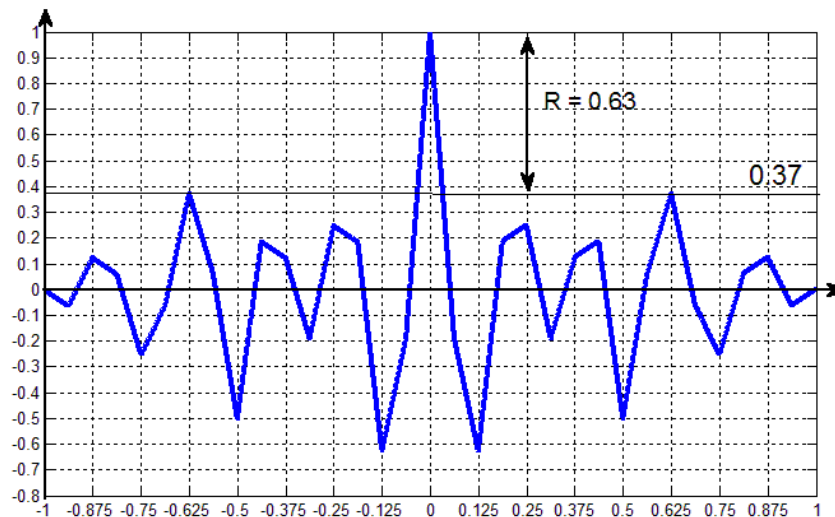


Рисунок 1.6. Нормована АКФ функції Уолша $wal(9,t)$.

1.4.2 Вимоги до змісту підрозділу.

- При виконанні даного завдання можливо будувати лише додатні зсуви, оскільки АКФ – симетрична функція.
- На нормованій АКФ необхідно зобразити рівень бокових піків.
- Необхідно провести розрахунок коефіцієнта розрізненості та зробити висновки по підрозділу.

1.5. Розрахунок спектру сигналу $S(t)$, використовуючи ДПФ

1.5.1 Теоретичні відомості.

Розглянемо головні властивості дискретних сигналів. Значення дискретних сигналів визначені не для всіх моментів часу, а лише на скінченній множині N точок $(t_0, t_1, t_2, \dots, t_{N-1})$. У випадку, коли математична модель аналогового сигналу $u(t)$ є досить гладкою функцією, то дискретний сигнал $U(k\Delta t)$ може бути описаний послідовністю $(U_0, U_1, U_2, \dots, U_{N-1})$ своїх відліків у відповідні моменти часу.

Спектральну щільність $S(w)$ дискретного сигналу $U(kT_a)$ можна представити виразом:

$$S(jw) = \sum_{k=0}^{\infty} U(kT_a) e^{-jwkT_a}, \quad (1.2)$$

де k – номер дискретного відліку неперервної функції; T_a – період (крок) дискретизації неперервної функції $u(t)$.

Відповідно до виразу (1.2), спектр дискретного сигналу є суцільним. Але таким він буває тільки у випадку нескінченного обсягу вибірки дискретного сигналу. На практиці вибірка відліків сигналу завжди скінчена. Крім того, перетворення Фур'є для реальних сигналів проводяться на комп'ютері. Це означає, що скінченою є не тільки вибірка дискретних відліків сигналу, але і відповідне цій вибірці число гармонік спектру дискретного сигналу.

Приймемо, що сигнал $u(t)$ є сигналом з обмеженим спектром, верхня частота якого становить f_m . За теоремою відліків (Котельникова), для нашого сигналу виберемо частоту відліків $f_a \geq 2 \cdot f_m$. На інтервалі існування сигналу T , ми одержимо $N = T/T_a$ відліків. В області частот від $f = 0$ до $f = f_a$ можна побудувати N ліній для частот:

$$w_n = \frac{2\pi}{NT_a} n,$$

де $n = 0, 1, \dots, N-1$.

Якщо в рівнянні (1.2) замінити w на w_n , то одержимо рівняння дискретне як за часом, так і по частоті (пряме дискретне перетворення Фур'є). І тому зручне для обчислення на комп'ютерах:

$$S(jw_n) = S(j \frac{2\pi}{NT_a} n) = \sum_{k=0}^{N-1} U(kT_a) e^{-jw_n kT_a};$$

$$S(jw_n) = \sum_{k=0}^{N-1} U(kT_a) e^{-j2\pi kn/N},$$

де $n = 0, 1, \dots, N-1$.

Для обчислення $U(kT_a)$ застосовуються обернене дискретне перетворення Фур'є (ОДПФ), яке може бути представлене у формах:

$$U(kT_a) = U_k = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} S(jw_n) \cdot e^{-j2\pi kn/N},$$

або

$$U_k = U_k = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} C_n \cdot W^{nk}, \quad (1.3)$$

де $k = 0, 1, \dots, N-1$, а комплексний множник (фазовий множник (ФМ))
 $W^{nk} = e^{-j2\pi kn/N}$.

Пряме дискретне перетворення Фур'є:

$$C_n = \sum_{k=0}^{N-1} U_k \cdot W^{nk}, \quad (1.4)$$

дозволяє знайти апроксимацію спектру неперервного сигналу за скінченною кількістю його відліків.

Нижче приведені фрагменти лістингу для фазових множників $W4$ та $W8$ при $N=4$ та $N=8$:

$W4 \rightarrow$

$W4 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -j & -1 & j \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & j & -1 & -j \end{bmatrix}$

$W8 \rightarrow$

(1.4)

М

$$W_8 = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0.707 - 0.707i & -i & -0.707 - 0.707i & -1 & -0.707 + 0.707i & i & 0.707 + 0.707i \\ 1 & -i & -1 & i & 1 & -i & -1 & i \\ 1 & -0.707 - 0.707i & i & 0.707 - 0.707i & -1 & 0.707 + 0.707i & -i & -0.707 + 0.707i \\ 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -0.707 + 0.707i & -i & 0.707 + 0.707i & -1 & 0.707 - 0.707i & i & -0.707 - 0.707i \\ 1 & i & -1 & -i & 1 & i & -1 & -i \\ 1 & 0.707 + 0.707i & i & -0.707 + 0.707i & -1 & -0.707 - 0.707i & -i & 0.707 - 0.707i \end{pmatrix}$$

У загальному вигляді при $N = 8$ коефіцієнти та вектори:

$$U^T \rightarrow (U_0 \ U_1 \ U_2 \ U_3 \ U_4 \ U_5 \ U_6 \ U_7)$$

коефіцієнти C_n визначаються наступним чином:

$$C \rightarrow \begin{pmatrix} U_0 + U_1 + U_2 + U_3 + U_4 + U_5 + U_6 + U_7 \\ U_0 + W \cdot U_1 + W^2 \cdot U_2 + W^3 \cdot U_3 + W^4 \cdot U_4 + W^5 \cdot U_5 + W^6 \cdot U_6 + W^7 \cdot U_7 \\ U_0 + W^2 \cdot U_1 + W^4 \cdot U_2 + W^6 \cdot U_3 + W^8 \cdot U_4 + W^{10} \cdot U_5 + W^{12} \cdot U_6 + W^{14} \cdot U_7 \\ U_0 + W^3 \cdot U_1 + W^6 \cdot U_2 + W^9 \cdot U_3 + W^{12} \cdot U_4 + W^{15} \cdot U_5 + W^{18} \cdot U_6 + W^{21} \cdot U_7 \\ U_0 + W^4 \cdot U_1 + W^8 \cdot U_2 + W^{12} \cdot U_3 + W^{16} \cdot U_4 + W^{20} \cdot U_5 + W^{24} \cdot U_6 + W^{28} \cdot U_7 \\ U_0 + W^5 \cdot U_1 + W^{10} \cdot U_2 + W^{15} \cdot U_3 + W^{20} \cdot U_4 + W^{25} \cdot U_5 + W^{30} \cdot U_6 + W^{35} \cdot U_7 \\ U_0 + W^6 \cdot U_1 + W^{12} \cdot U_2 + W^{18} \cdot U_3 + W^{24} \cdot U_4 + W^{30} \cdot U_5 + W^{36} \cdot U_6 + W^{42} \cdot U_7 \\ U_0 + W^7 \cdot U_1 + W^{14} \cdot U_2 + W^{21} \cdot U_3 + W^{28} \cdot U_4 + W^{35} \cdot U_5 + W^{42} \cdot U_6 + W^{49} \cdot U_7 \end{pmatrix}$$

1.5.2 Приклад реалізації.

Для отримання спектру за допомогою ДПФ у середовищі Matlab необхідно задати наступні команди:

```
>> Wal = wal(9,[0:M-1]/M);
>> S = 2/M * fft(Wal);
```

де M – кількість відліків функції.

Для побудови графіків необхідно скористатися функцією `stem(.)` аналогічно до п. 1.2.2.

1.5.3 Вимоги до змісту підрозділу.

При виконання підрозділу необхідно:

- Звернути увагу на те, що кількість гармонік спектру сигналу $S(t)$ не може перевищувати кількості відліків;
- Необхідно обґрунтувати вибір кількості дискретів та функції перетворення.
- Провести порівняння спектрів отриманих в п. 1.5. та в п. 1.2. Представити таблицю значень $\Delta_n = A_n - A_{nd}$, де A_n та A_{nd} амплітуди гармонік спектрів для неперервного та дискретного сигналів, відповідно. Данні привести для перших десяти гармонік.

1.6. Синтез сигналу по розрахованому спектру ДПФ

1.6.1 Теоретичні відомості.

Синтез сигналу проводиться за формулою:

$$S(t) = C_0 + 2 \sum_{n=1}^{\frac{N}{2}-1} C_n \cos(n \cdot \omega_n t + \psi_n) + C_{N/2} \cos\left(n \cdot \omega_{N/2} t + \psi_{N/2}\right)$$

Де C_n модулі амплітуд спектру.

1.6.2 Приклад реалізації.

Для синтезу сигналу у програмному середовищі Matlab необхідно створити `m`-файл з наступним вмістом:

```
function x = sintez_DPF(S,M,t,wal) % синтез сигналу.
    temp = 0;
    N = length(S); % довжина вектора спектру
    if (M > N/2)
        M = floor(N/2)+1;
        temp = 1;
    end
    n = 1 : M;
```

```

x = 0.5*(abs(S(1)));
for n = 2:M
    x = x + (abs(S(n))*cos((n-1)* 2*pi*t + phase(S(n))));
    % синтез
end
if (temp == 1)
    x = x - 0.5*(abs(S(M))*cos((M-1)* 2*pi*t + phase(S(M))));
end
plot(t,[x;wal]); % Побудова синтезованого та заданого сигналу.
end

```

В результаті використання функції `sintez_DPF(S,M,t,wal)` будуть побудовані графіки синтезованого та заданого сигналу (Рис. 1.7).

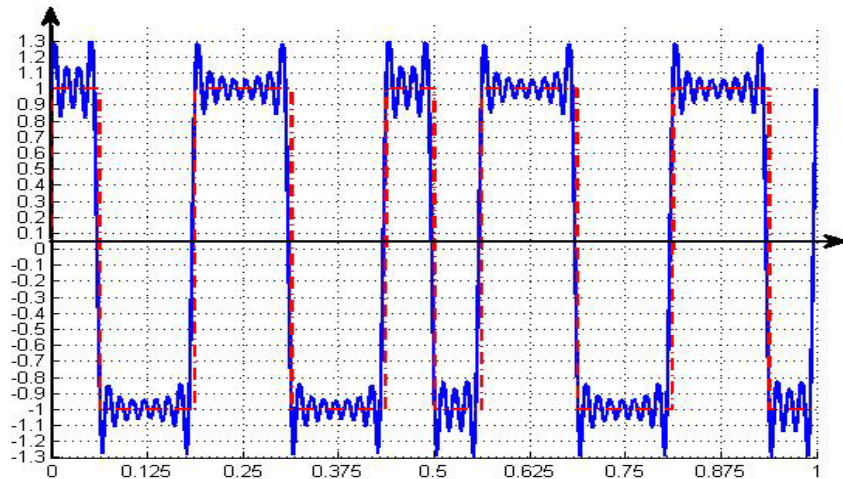


Рисунок 1.7. Синтезований та заданий сигнали.

1.6.3 Вимоги до змісту підрозділу.

Провести синтез для різних значеннях n_{max} , аналогічно до п.1.3. Синтезований сигнал побудувати на одному малюнку з заданим сигналом $S(t)$. При синтезі використовувати гармонічні функції та формулу:

$$S(t) = C_0 + 2 \sum_{n=1}^{\frac{N}{2}-1} C_n \cos(n \cdot \omega_n t + \psi_n) + C_{N/2} \cos(n \cdot \omega_{N/2} t + \psi_{N/2})$$

Необхідно провести порівняння отриманих результатів з результатами, отриманими в п.1.3.

1.7. Розрахунок нормованої АКФ дискретного сигналу

1.7.1 Приклад реалізації.

Для побудови нормованої АКФ дискретного сигналу, необхідно використати наступні команди:

```
>> M = 16;  
>> Wal9 = wal(9,[0.5:M]/M);  
>> ACF = xcorr(Wal,'biased');
```

Для побудови на одній координатній сітці декількох графіків, необхідно прописати команду `hold on`.

АКФ будується за допомогою функції `stem()`. АКФ дискретного та неперервного сигналу в приведеному масштабі, зображені на рис. 1.8.

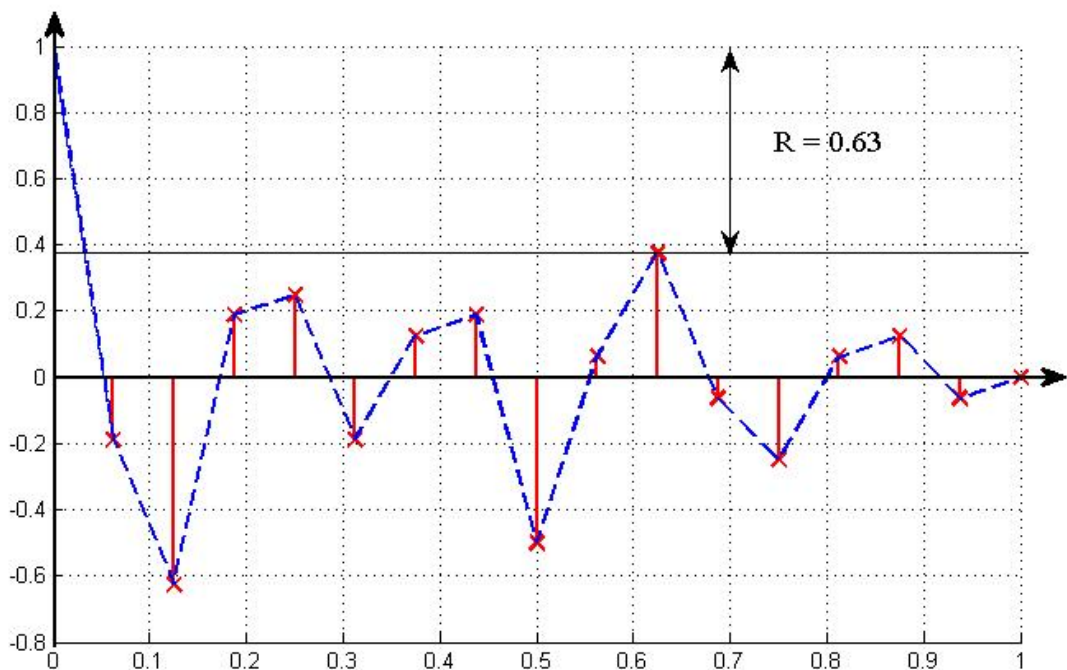


Рисунок 1.8. АКФ дискретного та неперервного сигналів в приведеному масштабі.

1.7.2 Вимоги до змісту підрозділу.

При виконанні даного пункту необхідно:

- На одному малюнку зобразити АКФ дискретного та неперервного сигналу в приведеному масштабі;
- Необхідно пам'ятати, що заданий сигнал (функція Уолша) формувався за допомогою функцій Радемахера, що має вигляд: $rad(n,t) = \text{sign}(\sin(2^n \pi t))$. А функція $\text{sign}(0) = 0$;
- Пам'ятати те, що АКФ симетрична;
- Масштаби дискретного та неперервного сигналів не співпадають, тому потрібно провести нормування.

1.8. Розрахунок АКФ білого шуму

1.8.1 Приклад реалізації.

Побудова білого шуму здійснюється за допомогою наступних команд у середовищі Matlab. В результаті виконання цих команд буде побудовано осцилограму білого шуму (рис. 1.9).

```
>> Noise = normrnd(0,1,[1 1e4]);
>> t = 0:1e-4:1-1e-4;
>> plot(t,Noise)
```

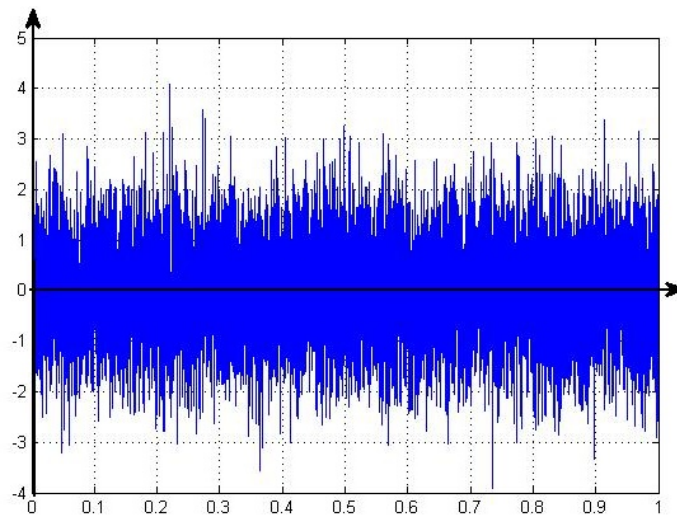


Рисунок 1.9. Білий шум.

АКФ білого шуму будується аналогічно до п.1.4.

```
>> tau=-(1-1e-4):1e-4:1-1e-4;
```

```
>> plot(tau,xcorr(Noise,'coeff'));
```

Результат виконання таких команд зображено на рис. 1.10.

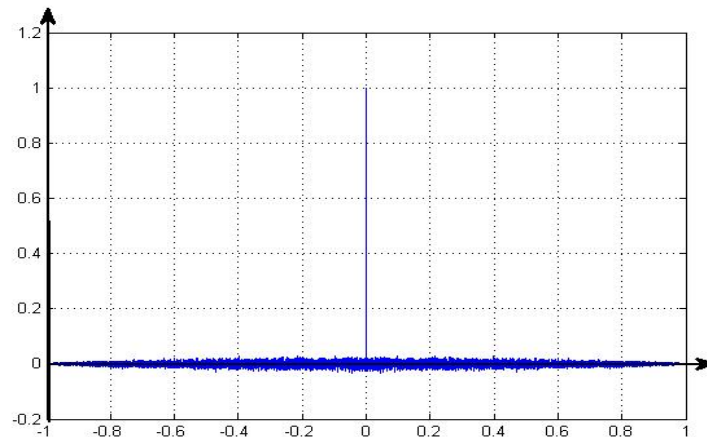


Рисунок 1.10. АКФ білого шуму.

1.9. Складний сигнал

1.9.1 Приклад реалізації.

Побудова складного сигналу здійснюється наступним чином. Спочатку задається породжуюча послідовність:

```
>> PS =[1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 1 1 1 0 0 0 1 0 1 1 0 0 1 1 0 1 0 1 1 0];
```

Ставимо у відповідність код з «1» та «0» код з «1» та «-1»:

```
>> PS = PS*2-1;
```

Задається базовий сигнал аналогічно до п.1.7:

```
>> k = 0.5/32 : 1/32: 1;  
>> Wall6 = wal(16,k);
```

Нова послідовність є добутком базового та породжуючого сигналів:

```
>> New_Signal = PS.*Wall6;
```

АКФ складного та заданого сигналів (рис. 1.11) розраховується при виконанні команд:

```
>> n = -31:31;  
>> plot(n,[xcorr(Wall6,'coeff');xcorr(New_Signal,'coeff')]);
```

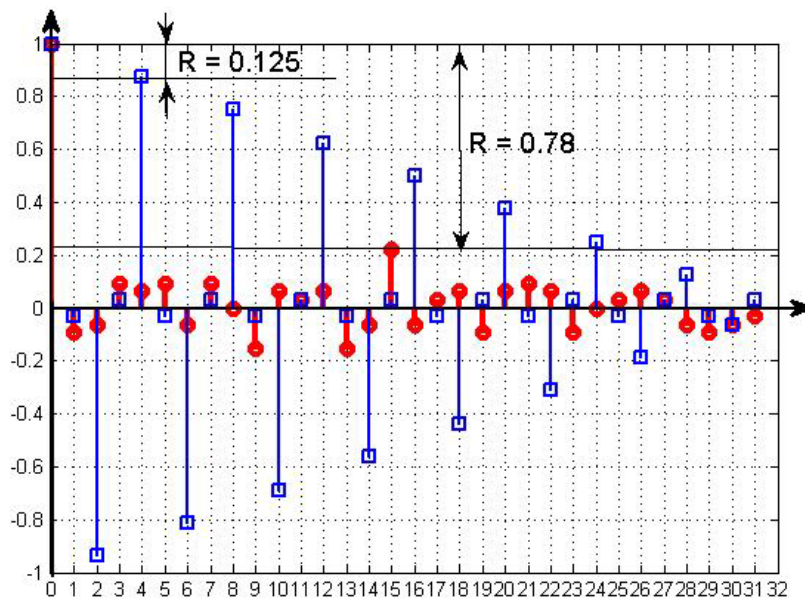


Рисунок 1.11. АКФ складного та заданого сигналів.

1.9.2 Вимоги до змісту підрозділу.

В підрозділі необхідно привести математичну модель для отримання складного сигналу. У явному вигляді провести формування складного сигналу.

При розрахунку АКФ, обрати вид сигналу (дискретний чи неперервний). Зобразити на одному малюнку АКФ заданого та складного сигналів.

Необхідно провести кількісну оцінку піків АКФ, та оцінку зміни показника розпізнання.

1.10. Розрахувати ВКФ дискретного сигналу

1.10.1 Приклад реалізації.

ВКФ двох сигналів розраховується за допомогою команд:

```
>> k = 0.5/32 : 1/32: 1;
>> n = -31:31;
>> Wal16 = wal(16,k);
>> Wal9 = wal(9,k);
>> plot(n,xcorr(Wal16,Wal9));
```

Результатом їх виконання є графік представлений на рис. 1.12.

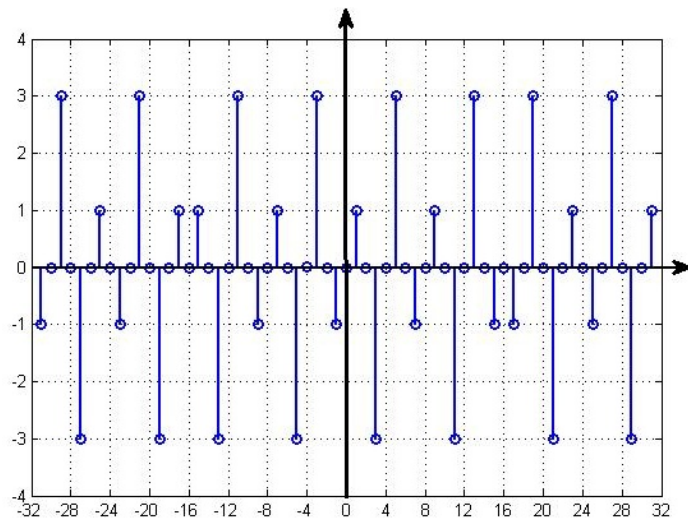


Рисунок 1.12. ВКФ функцій Уолша $wal(9,t)$ та $wal(16,t)$.

1.12. Суміші $XN(t)$ заданого сигналу $S(t)$

1.12.1 Приклад реалізації адитивної суміші сигналу та:

- A. Гармонічної завади $x_e(t) - X1(t) = S(t) + x_e(t)$,
- B. Імпульсної завади $x_i(t) - X2(t) = S(t) + x_i(t)$,
- C. Білого шуму $\eta(t,m,\sigma) - X3(t) = S(t) + \eta(t,m,\sigma)$,
- D. Гармонічної завади + імпульсної завади + білого шуму $- X4(t) = S(t) + x_e(t) + x_i(t) + \eta(t,m,\sigma)$. Представити всі ці суміші на окремих графіках.

Побудова суміші сигналу та гармонічної завади

При заданій гармонічній заваді необхідно врахувати те, що було здійснено перехід до нормованого часу.

```
>> t = 0 : 1e-4 : 1;
>> tau = 0.5;
>> T = 16 * tau;
>> Ts = 2 * tau;
>> Xs = - 10 * sin((2*pi/Ts)*(t*T));
>> X1 = Xs+wal(9,t);
>> plot(t,[X1;wal(9,t)])
```

Суміш сигналу та синусоїдальної завади наведена на рис. 1.13.

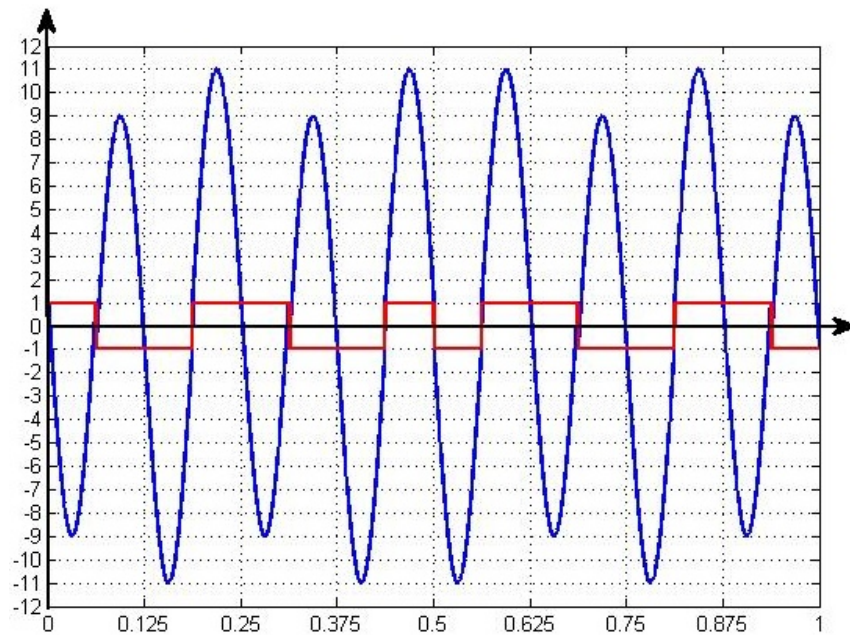


Рисунок 1.13. Суміш синусоїдальної завади та $\text{wal}(9,t)$.

У роботі необхідно провести аналіз одержаного сигналу (одержити подібний до представленого на Рис 1.13).

Побудова суміші сигналу та імпульсної завади

При заданій імпульсній заваді необхідно врахувати те, що було здійснено перехід до нормованого часу. Для побудови динамічної моделі заданої імпульсної завади необхідно створити відповідний m-файл.

Функція Хаара задається за допомогою команд:

```
function H = har( r,m,x )
N = length(x);
H = zeros(1,N);
if r == 0 && m == 0
    H = ones(1,N);
else
    for i=1:N
        if ((m-1)/(2^r)<=x(i) && x(i)<(m-1/2)/(2^r))
            H(i) = 2^(r/2);
        end
        if (m-1/2)/(2^r)<=x(i) && x(i)<(m)/(2^r)
            H(i) = -2^(r/2);
        end
    end
end
end
```

Прямокутний імпульс формується наступним чином:

```
function P = pulse( t, tau, delay )
% будує прямокутний імпульс тривалістю - tau та з затримкою - delay
N = length(t);
P = zeros(1,N);
for i=1:N
```



```

    if (delay<=t(i) && t(i)<delay+tau)
        P(i) = 1;
    end
end
end

```

Такий m-файл задає функцію представлену на рис. 1.14.

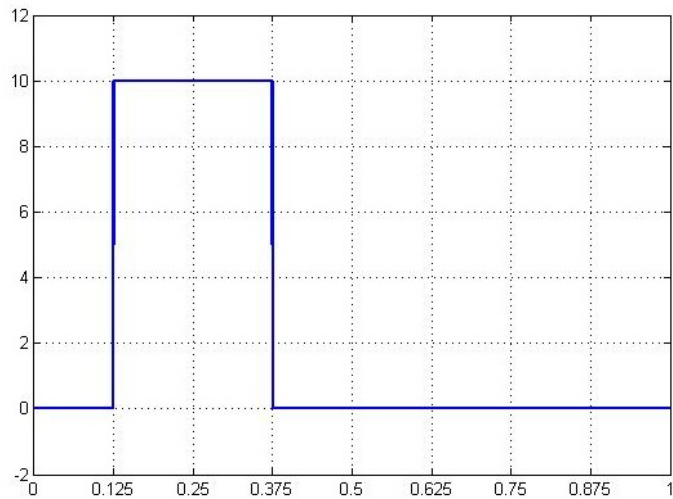


Рисунок 1.14. Імпульсна завада.

Суміш заданої імпульсної завади та сигналу $S(t)$ представлена на рис. 1.15.

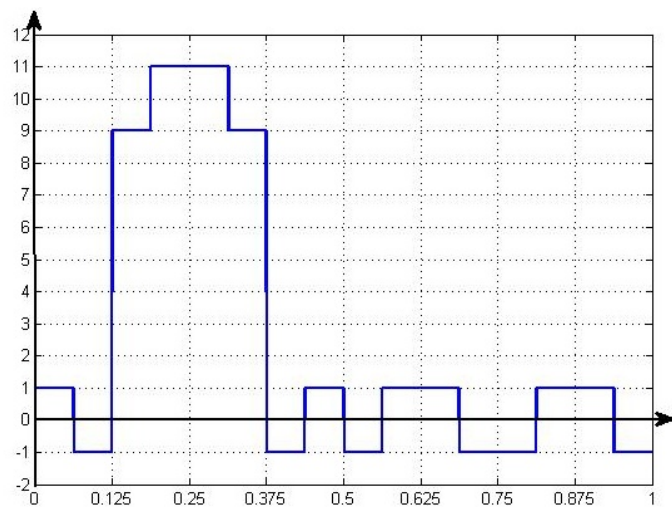


Рисунок 1.15. Суміш імпульсної завади та заданого сигналу.

Побудова суміші сигналу та білого шуму

Адитивну суміш заданого сигналу та білого шуму можливо змоделювати за допомогою наступних команд:

```

>> Noise = normrnd(0,0.75,[1 1e4+1]);
>> X3 = Noise+wal(9,t);
>> plot(t,[X3;wal(9,t)]);

```

В результаті виконання таких команд будуть побудовані графіки суміш заданого сигналу та білого шуму та сигналу $S(t)$ (рис. 1.16).

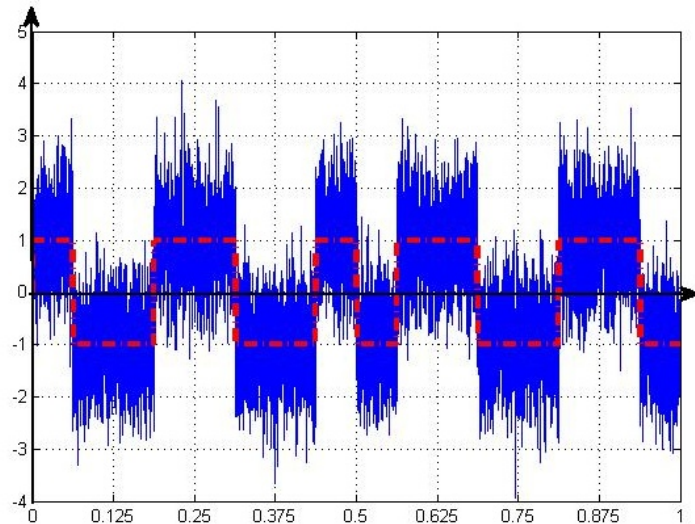


Рисунок 1.16. Суміш сигналу та білого шуму.

Побудова суміші сигналу та
гармонічної завади + імпульсної завади + білого шуму

Для побудови такої суміші необхідно використати раніше введені функції та задати в командному вікні наступні команди:

```
>> X4 = wal(9,t) + Xs +Xi(t) +Noise;  
>> plot(t,[X4;wal(9,t)]);
```

Результатом буде побудований графік суміші сигналу, білого шуму, імпульсної та гармонічної завад (рис. 1.17).

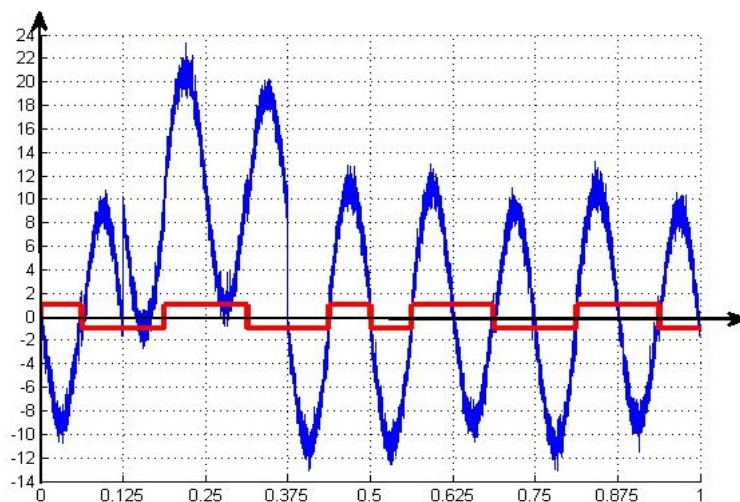


Рисунок 1.17. Графік суміші заданого сигналу, білого шуму, імпульсної та гармонічної завад та сигналу $S(t)$.

1.12.3 Вимоги до змісту підрозділу.

- При оформленні роботи необхідно привести у явному вигляді вирази, за якими формуються сигнали та відповідні завади. Необхідно пам'ятати, що в більшій частині роботи виконано перехід до нормованого часу;
- Побудови графіків виконати для нормованого часу;
- В підрозділі необхідно обґрунтувати вибір функції для моделювання білого шуму.
- Провести аналіз суміші заданого сигналу, білого шуму, імпульсної та гармонічної завад та сигналу $S(t)$. Оцінити амплітуду, частоту гармонічної завади, тривалість та параметри імпульсної завади.

ЧАСТИНА 2

2.1. Побудова спектру сигналу $XI(t)$, використовуючи гармонічний базис, та визначення спектральної лінії гармонічної завади

2.1.1 Приклад реалізації.

Побудова спектру сигналу $XI(t)$ виконується аналогічно до п.1.2.2.

В результаті розрахунків одержимо спектр сигналу $XI(t)$, представлено на рис. 2.1:

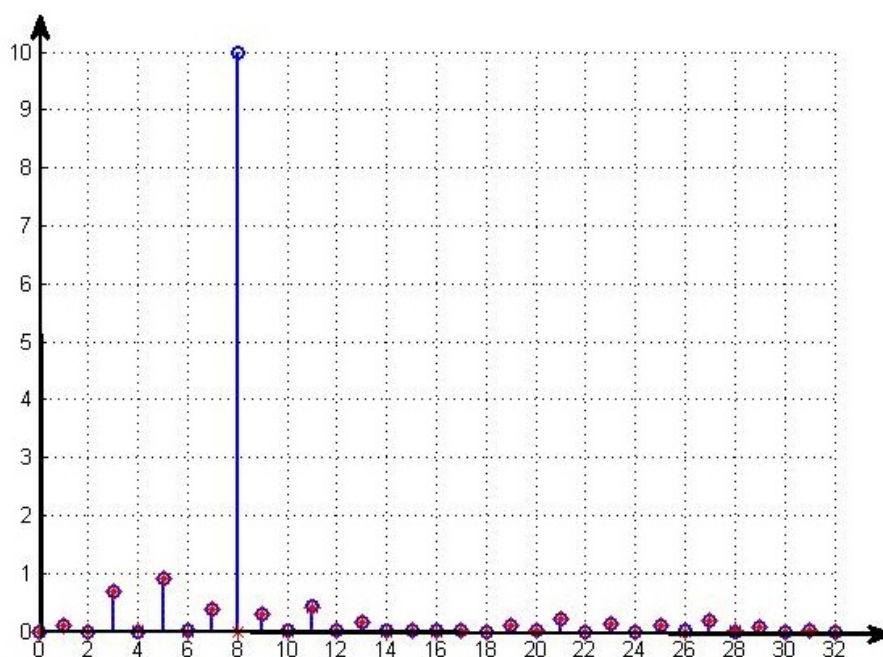


Рисунок 2.1. Спектри сигналів $XI(t)$ та $S(t)$.

2.1.2 Вимоги до змісту підрозділу.

При побудові спектру сигналу $XI(t)$, необхідно привести математичну модель сигналу у явному вигляді.

2.2. Видалення гармонічної завади в $XI(t)$

2.2.1 Приклад реалізації.

Для видалення гармонічної завади, необхідно провести аналіз сигналу та його спектру:

- Чи співпадає частота завади з однією з частот гармонік спектру заданого сигналу;
- Чи співпадає частота завади з секвентністю заданого сигналу.
- Частота завади f_g кратна/(не кратна) частоті гармоніки спектру у базисі гармонічних функцій

При умові, коли частота гармонічної завади $f_g = r_{fn}$, причому на цій частоті амплітуда спектра сигналу на цій частоті $A_{pfn} = 0$ (рис. 2.1), при синтезі сигналу приймається $A_{pfn} = 0$. Синтезований сигнал для цього випадку представлено на Рис. 2.2.

```
S = wal(9,t);
Spektr_X1 = FT(X1,50);
Spektr_X1(9) = 0;
X1a = sintez(Spektr_X1,50,t,S);
```

Необхідно пам'ятати, що нумерація масиву в середовищі Matlab починається з «1».

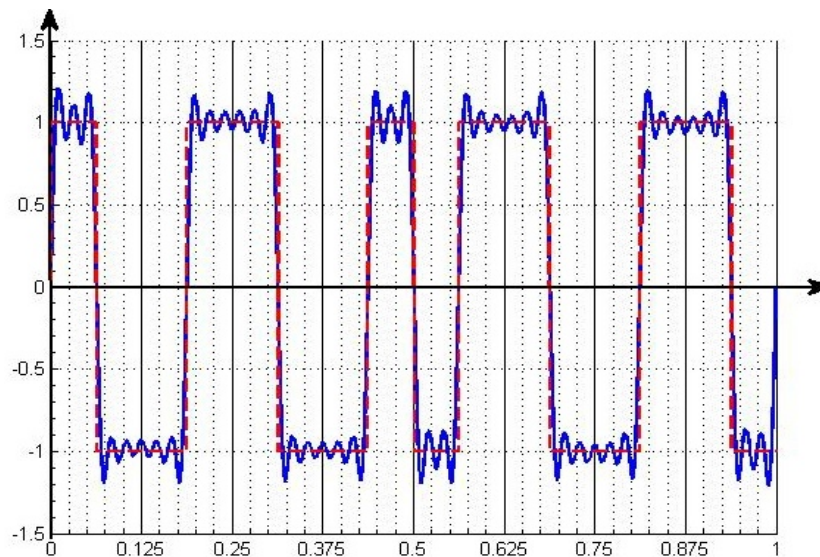


Рисунок 2.2. Синтезований сигнал.

Спектр синусоїдного сигналу у базисі Фур'є, для випадку, коли частота завади f_g кратна частоті гармоніки сигналу, містить тільки одну спектральну складову в області додатних частот. У загальному випадку, найбільша амплітуда гармоніки спектру дорівнює сумі амплітуд спектральних складових завад, сигналу та шуму. Найбільш складними є випадки, коли частота завади f_g не кратна частоті гармоніки сигналу та випадок синхронної завади. Для

усунення впливу гармонічної завади на форму синтезованого сигналу, на основі попереднього аналізу форми суміші сигналу, завади та шуму у загальному випадку необхідно використовувати підходи розглянуті у лабораторній роботі №5.

2.2.2 Вимоги до змісту підрозділу.

В підрозділі необхідно обґрунтувати оптимальність вибору алгоритму видалення гармонічної завади.

При виборі алгоритму необхідно пам'ятати, що при видаленні сигналу необхідно підібрати не лише амплітуду гармонічної завади, але й її фазу. Невелика розбіжність в фазі приведе до спотворення виду сигналу.

2.3. Видалення гармонічної завади в $X4(t)$

2.3.1 Приклад реалізації.

На першому етапі розраховуємо спектр сигналу $X4(t)$ (аналогічно до п.1.5.2). Спектри сигналів $X4(t)$ та $S(t)$ представлені на Рис. 2.3.

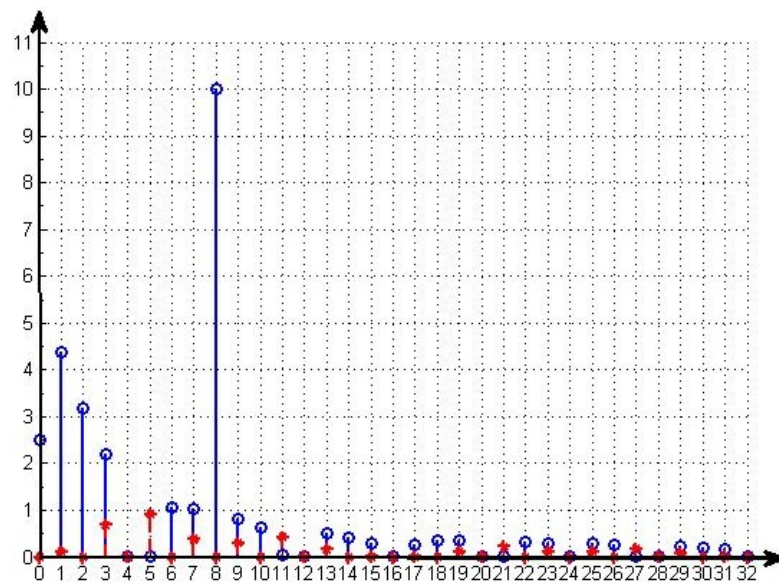


Рисунок 2.3. Спектри сигналів $X4(t)$ та $S(t)$.

Видалення гармонічної завади і синтез сигналу проводиться аналогічно випадку, розглянутому для $X1(t)$ (п. 2.1 - 2.2). Синтезований сигнал $X4a(t)$ та сигнал $X2(t)$ показані на Рис. 2.4.



Рисунок 2.4. Синтезований сигнал $X4a(t)$ та сигнал $X2(t)$.

2.3.2 Вимоги до змісту підрозділів:

- Розрахунок спектру сигналу доцільно проводити за допомогою ДПФ. В підрозділі необхідно привести формули для розрахунку спектру;
- Необхідно провести порівняння спектрів сигналів $X4(t)$ та $S(t)$;
- Визначити, за теоремою про лінійність, складові гармонічної та імпульсної завад. Провести аналіз аналогічний до п. 2.1.3;
- Необхідно привести формулу, по якій здійснюється синтез сигналу;
- Якщо в синтезованому сигналі великі осциляції – алгоритм видалення завади не оптимальний і необхідно провести синтез, використовуючи інші данні .

2.4. Видалення імпульсної завади з сигналу $X_2(t)$

2.4.1 Приклад реалізації.

У загальному випадку необхідно використовувати базис функцій Хаара (дивись лабораторну роботу №5).

У першому наближенні можна провести розклад сигналу у базисі функцій $blo(n, \theta)$. Необхідно пам'ятати, що у системі базисних функцій $blo(n, \theta)$ відсутня постійна складова.

Розрахунок спектру сигналу в базисі прямокутних функцій

Для побудови функцій $blo(n, \theta)$ необхідно створити m-файл:

```
function X = blo( n , t ,M )
N = length(t);
for k = 1:N;
X(k) =0;
if ((t(k)>n/M)&(t(k)<(n+1)/M))
X(k) = 1;
end
end
end
```

Для побудови спектру в базисі функцій $blo(n, \theta)$ необхідно:

```
for index = [1:16] Blo(index,t) = blo(index-1,t,16); end
Blo16 = Blo';
Sp_blo_X2 = [ (Blo16*X2')/length(t)*16]';
plot([0:15],[Sblo_X4b ; Sp_blo_X4a]);
```

Спектр сигналу $X_2(t)$ у базисі прямокутних імпульсів представлений на Рис. 2.5.

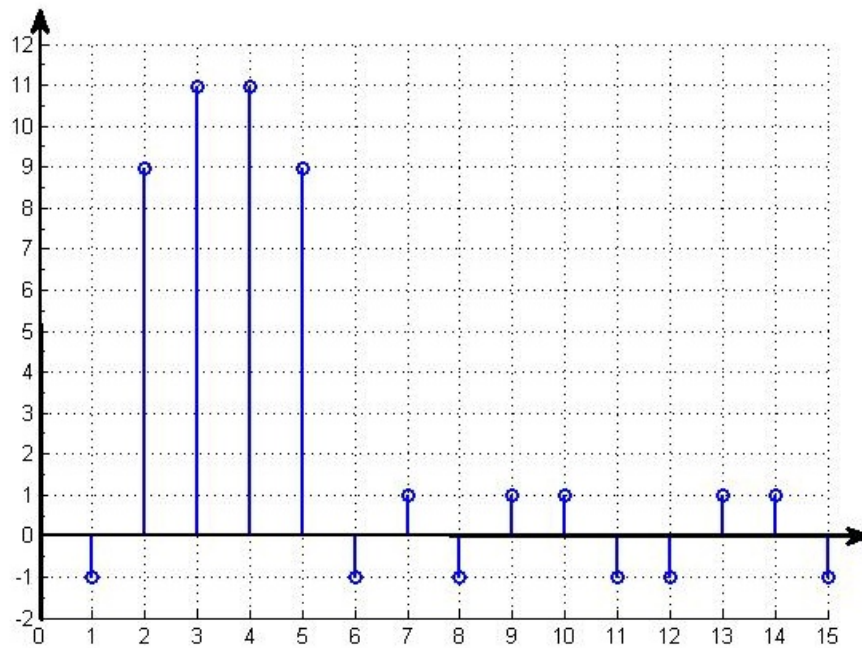


Рисунок 2.5. Спектр сигналу $X_2(t)$ у базисі прямокутних імпульсів.

Визначення спектральних ліній, що відповідають імпульсній заваді

При використанні базису функцій $blo(n, \theta)$, спектральні компоненти функції Уолша у цьому базисі по модулю повинні бути рівними «1». Відповідно до цього, гармоніки з 2-ї по 5-ту відповідають імпульсній заваді.

Видалення імпульсної завади

Для видалення імпульсної завади необхідно створити m-файл:

```
function new_Sblo = dblofilter( Sblo , X )
new_Sblo =0;
N = length(Sblo);
for k = 1:N
if (Sblo(k) <= -X) new_Sblo(k) = -1;
else if (Sblo(k) >= X) new_Sblo(k) = 1;
else new_Sblo(k) = 0;
end
end
end
```

В командному вікні задати наступні команди для видалення завади:

```
Sblo_X2 = dblofilter(Sp_blo_X2,0.8);
plot([0:15],[Sblo_X2a ; Sp_blo_X2]);
```

В результаті виконання команд будуть визначені спектри сигналів $X2(t)$ та відфільтрованого сигналу $X2a(t)$ у базисі прямокутних імпульсів (рис. 2.6).

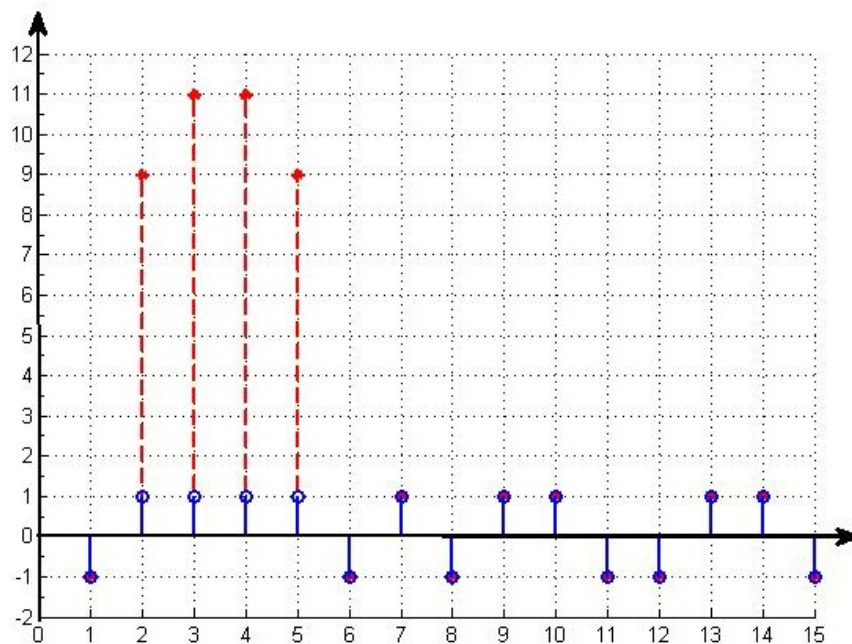


Рисунок 2.6. Спекти сигналів $X2(t)$ та відфільтрованого $X2a(t)$ у базисі прямокутних імпульсів.

Для синтезу сигналу необхідно задати команди:

```
X2a = Sblo_X2a*Blo';
plot(t,[X2a;wal(9,t)]);
```

В результаті виконання команд одержимо сигнали $X2a(t)$ та $S(t)$ (Рис. 2.7).

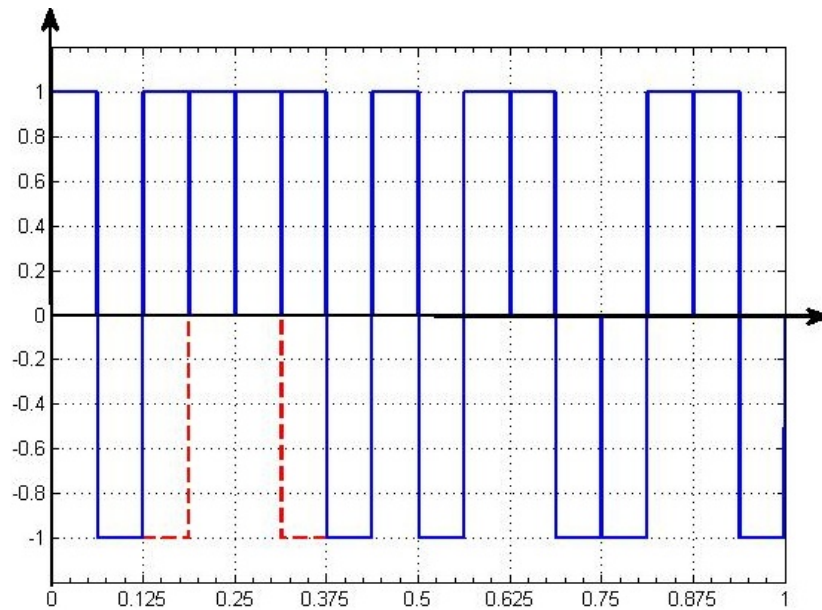


Рисунок 2.7. Сигнали $X2a(t)$ та $S(t)$.

2.4.2 Вимоги до змісту підрозділів.

При виконанні цих підрозділів необхідно:

- Записати математичний вираз для сигналу $X2a(t)$;
- Обґрунтувати вибір базисних функцій;
- Записати математичний вираз для обраних базисних функцій;
- Привести формули для розрахунку спектру, і усі дані розрахунків;
- Відмітити амплітуди ФУ.

Для створення алгоритму видалення, необхідно провести аналіз структури заданого сигналу. Необхідно обґрунтувати вибраний алгоритм.

Необхідно привести алгоритм видалення імпульсної завади. Зверніть увагу, що така обробка сигналу у базисі прямокутних імпульсів аналогічна апаратному двусторонньому обмеженню аналогового сигналу.

2.5. Видалення імпульсної завади з сигналу $X4a(t)$

Видалення імпульсної завади з сигналу $X4a(t)$ проводиться аналогічно до випадку видалення імпульсної завади з сигналу $X2(t)$ (п.2.4). Спектр сигналу $X4a(t)$ у базисі прямокутних імпульсів представлено на рис. 2.8.

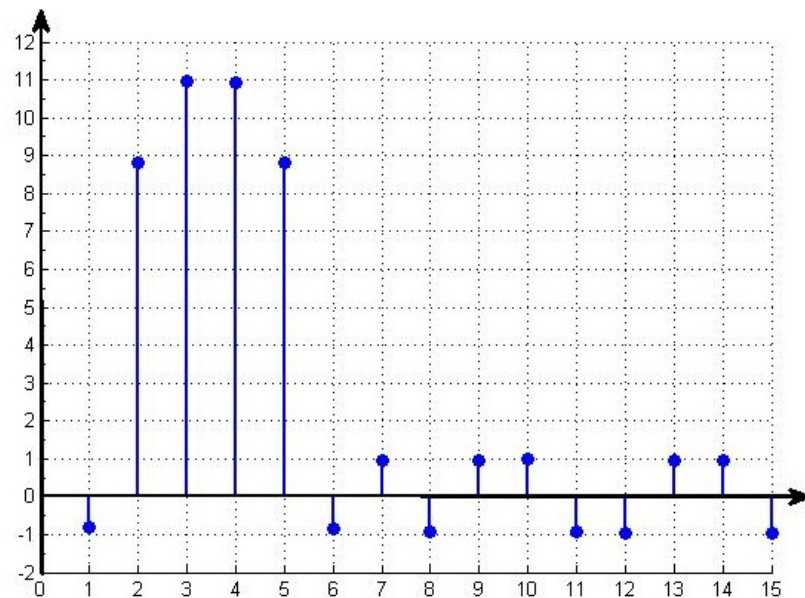


Рисунок 2.8. Спектр сигналу $X4a(t)$ у базисі прямокутних імпульсів.

Сигнал $X4b(t)$ після подавлення імпульсної завади зображений на рис. 2.9. На цьому ж рисунку приведений корисний сигнал $S(t)$.

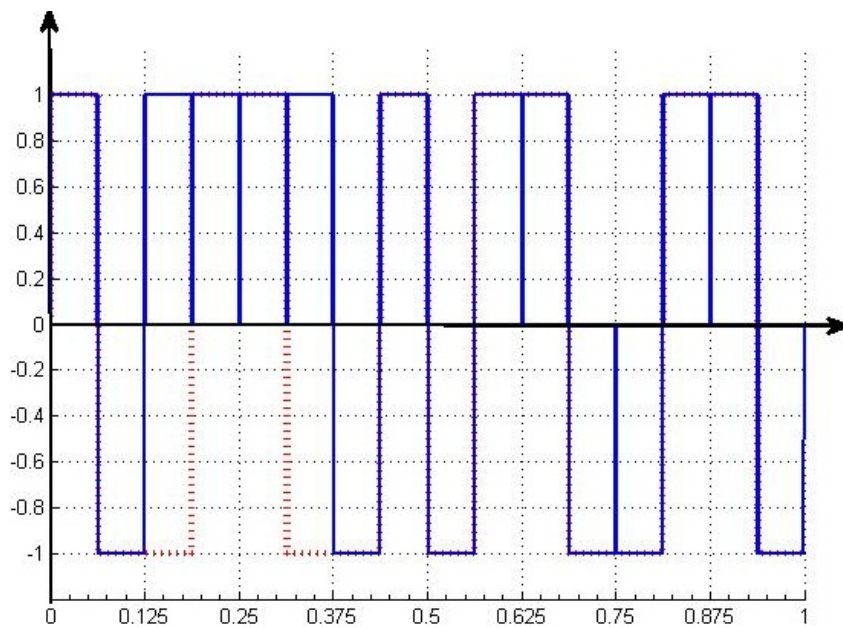


Рисунок 2.9. Сигнали $X4b(t)$ та $S(t)$.

В підрозділі необхідно виконати усі вимоги, що наведені в п.2.4.2.

2.6. Визначення заданого сигналу

Для розкладу спектру заданого сигналу $S(t)$ у базисі ФУ необхідно задати наступні команди:

```

for index = [1:16] W(index,:)= wal(index,t); end
S = wal(9,t); % заданий сигнал;
Sw=W*S'/length(t);

```

Спектр заданого сигналу $S(t)$ у базисі ФУ представлено на Рис. 2.10.

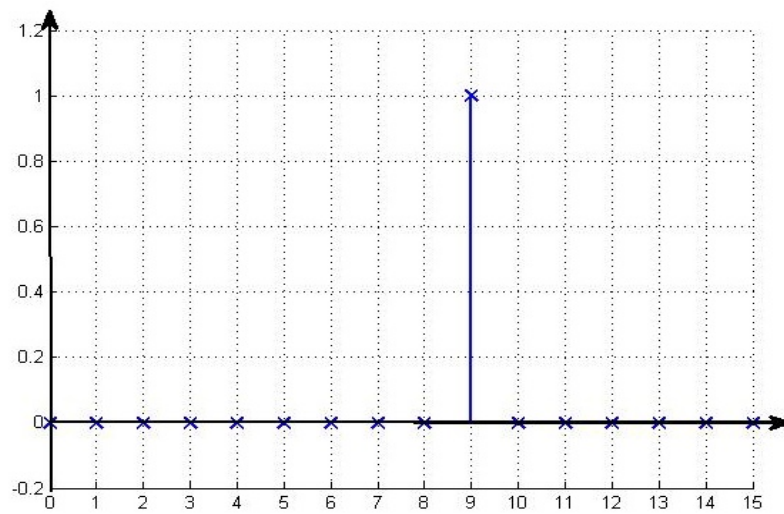


Рисунок 2.10. Спектр сигналу $S(t)$ у базисі функцій Уолша.

Аналогічно розраховується спектр сигналу $X4v(t)$ у базисі функцій Уолша :

```

Sw1=W*X4b'/length(t);
stem([0:15],Sw);

```

Спектр сигналу $X4v(t)$ у базисі ФУ представлено на Рис. 2.11.

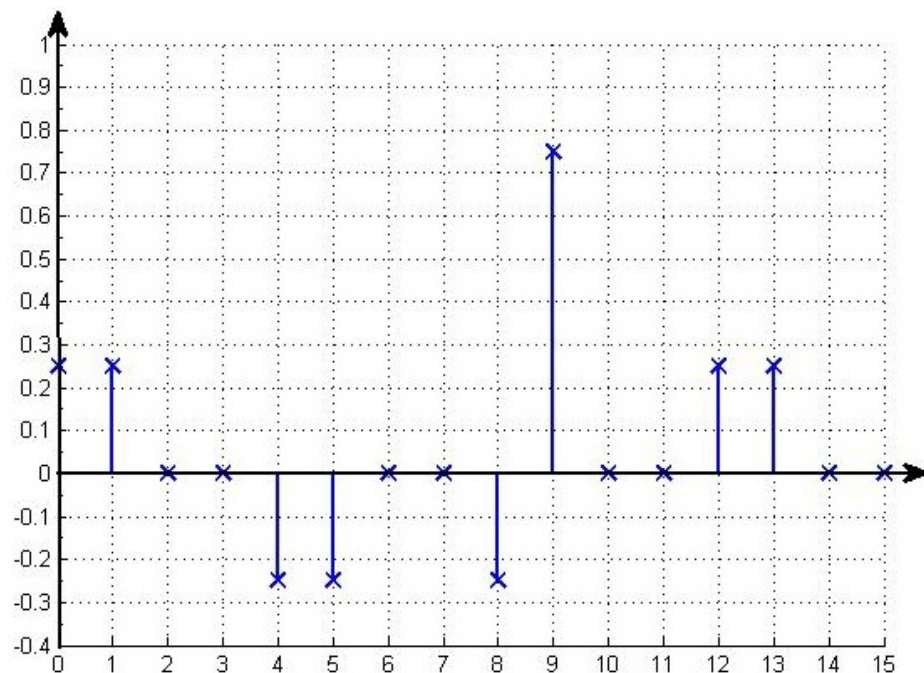


Рисунок 2.11. Спектр сигналу $X4v(t)$ у базисі ФУ.

На основі аналізу Рис. 2.11 можна зробити висновок, що сигналу $S(t)$ відповідає дев'ять ФУ.

При оформленні роботи необхідно привести та обґрунтувати формули для розрахунку спектру сигналу у базисі ФУ. У роботі необхідно оцінити ймовірність правильного розпізнавання сигналу. Розглянути випадки, у яких можливе хибне визначення сигналу $S(t)$.

2.7. Кореляційний аналіз сигналу $X_4(t)$

Побудова кореляційних функцій у Matlab виконується за допомогою команди:

```
C = XCORR(A,B, 'biased')
```

Для побудови ВКФ сигналів $X_4(t)$ та $S(t)$ необхідно задати команди:

```
>> tau = -1:1e-4:1;  
>> plot(tau,xcorr(X4,S,'biased'))
```

ВКФ сигналів $X_4(t)$ та $S(t)$ представлено на Рис. 2.12.

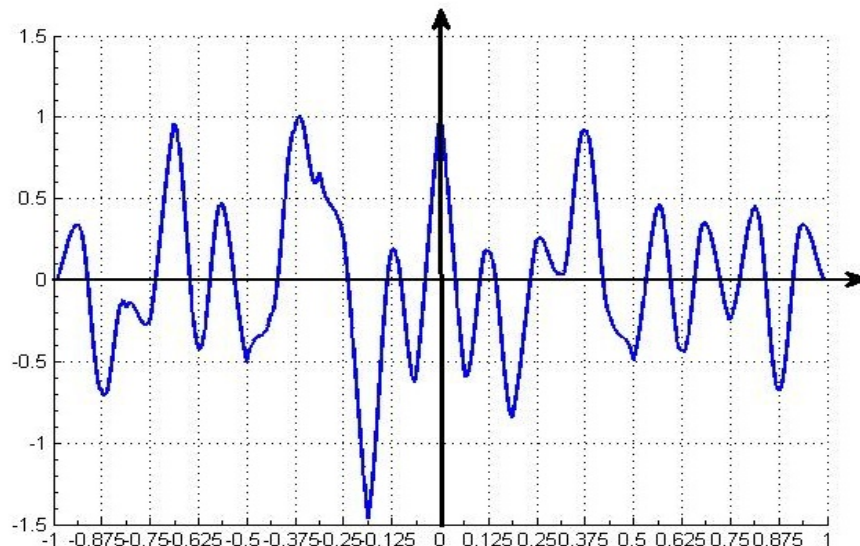


Рисунок 2.12. ВКФ сигналів $X_4(t)$ та $S(t)$.

Для побудови АКФ сигналу $X_4(t)$ необхідно задати лише одну функцію в XCORR:

```
>> plot(tau,xcorr(X4,'coeff'))
```

При використанні вбудованої функції $xcorr(X4, 'coeff')$ максимум АКФ буде нормовано до одиниці (рис. 2.13).

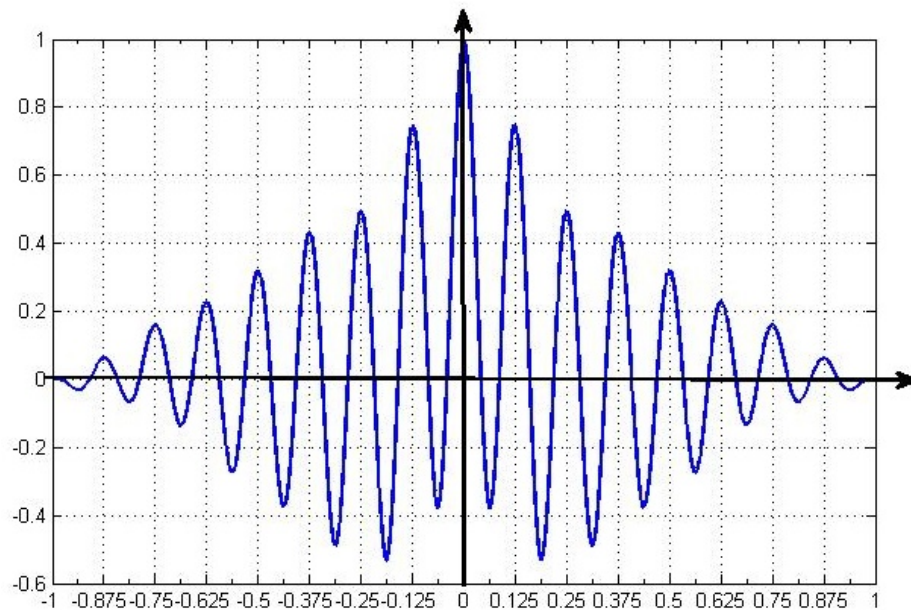


Рисунок 2.13. АКФ сигналу $X4(t)$.

При виконанні цих підрозділів, необхідно привести формули для розрахунку кореляційних функцій. Провести аналіз отриманих результатів (оцінити на скільки змінилися дані в характерних точках).

Необхідно привести математичні моделі сигналів, та залежності їх кореляційних функцій від зсуву.

ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Урядников Ю.Ф., Аджемов С.С. – Сверхширокополосная связь. Теория и применение. М.: СЛОН_ПРЕСС, 2005. – 368 с. – (Серия «Библиотека студента»).
2. Ипатов В. – Широкополосные системы и кодовое разделение сигналов. Принципы и приложения М.: Техносфера, 2007. – 488 с.
3. Васин В.А. и др. – Информационные технологии в радиотехнических системах: Учебное пособие. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 672.с
4. Бабак В.П., Белецкий А.Я., Гуржий А.Н. – Сигналы и спектры. Уч. пособие. Киев. НАУ. 2005. – 518 с.
5. Гепко И.А. – Комплементарные и спектрально – эффективные коды в радиотехнологиях четвертого поколения. – К.: «Звязок», 2008. – 224 с.
6. Складар Б. – Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Изд. 4. испр. Пер с англ.. – М.: Изд. Дом. «Вильямс», 2012. – 1104 с.
7. Вишневский В.М. и др. – Широкополосные беспроводные сети передачи информации. М.: Техносфера, 2005. – 592 с.
8. Дьяконов В.П. – MATLAB 6.5 SP1/7+Simulink 5/6. Обработка сигналов и проектирование фильтров. – М.: СОЛОН – Пресс, 2005. – 576 с. (Серия «Библиотека профессионала»).